

ТОНКОСТЕННЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ С НЕСКВОЗНЫМИ ТРЕЩИНОВИДНЫМИ ДЕФЕКТАМИ В ПРИБЛИЖЕНИИ ДАГДЕЙЛА

А. С. Яковлев

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет),
Sash84_777@bk.ru

В настоящее время в проектировании различных конструкций наряду с расчетами на прочность, устойчивость, долговечность и надежность все больше используются различные методы расчета конструкций на живучесть. Эта тенденция обусловлена необходимостью уже на этапе проектирования изделия оценить возможность функционирования элементов его конструкции с различными повреждениями с тем, чтобы обеспечить повышенную живучесть этого изделия при воздействии на него различных факторов внешней среды во время эксплуатации.

В работе рассматривается и решается задача определения области возможных предельных состояний тонкостенных цилиндрических оболочек из идеального упругопластичного материала с несквозным трещиновидным дефектом. Приводится сопоставление экспериментальных и теоретических данных.

На основании решения краевой задачи для тонкостенной пластины с поверхностной трещиной переменной глубины в приближении Дагдейла [1] были установлены области предельных состояний тонкой пластины с таким дефектом, и определена граница между ними.

При распространении полученных результатов с тонкостенных пластин на тонкостенные цилиндрические оболочки, находящиеся под внутренним давлением p (с учётом поправки Фолиаса [3] на кривизну оболочки) можно сделать вывод, что при $x = a/h < \bar{x}$ проросшая на всю глубину поверхностная трещина далее не будет распространяться по всей длине стенки оболочки, находящейся под внутренним давлением (возникает «течь»), а при $x > \bar{x}$ продолжит своё развитие, что в итоге может привести к катастрофическому разрушению всей конструкции при напряжениях ниже предела текучести материала. Данное обстоятельство определяется критерием «утечка перед разрушением».

Переход от пластин к оболочкам осуществляем с помощью следующего уравнения:

$$\hat{E}_I = M_F \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi l} = \frac{pR}{h} \left[\left(1 + 1,61 \frac{l^2}{Rh} \right) \pi l \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

где p – внутреннее давление в оболочке, R – радиус кривизны оболочки, l – длина трещины, h – толщина стенки оболочки, $M_F = \sqrt{1 + 1,61(l^2 / Rh)}$ – поправка Фолиаса.

Используя экспериментальные данные [2] испытаний труб диаметром 762 мм с толщиной стенки 9,5 мм при наличии поверхностных дефектов, полученные в работе (таблица 1) и, перенося их на график, получим следующую картину:

Таблица 1. – Экспериментальные данные А.Р. Даффи, Дж. М. Мак Клур и др.

Обозначение трубы	Длина трещины, мм (L)	глубина трещины, мм (a)	Относительная глубина трещины, мм ($x = a/h$)	Предел текучести, (кг/мм ²) σ_s	P/σ_s	интегральная безразмерная характеристика \hat{E}_I	КРИТЕРИЙ
RR8	370,84	3,78	0,398	52,14	0,72	0,006	разрушение
	222,25		0,398		0,78	0,028	
	83,82		0,398		0,94	0,413	
RR5	369,82	5,69	0,599	50,17	0,50	0,007	
	219,2		0,599		0,57	0,031	
RR9	83,82	7,72	0,599	47,18	0,92	0,504	течь
RR7	370,84		0,813	49,66	0,22	0,007	
RR4	224,03		0,813	49,89	0,32	0,030	
RR7	86,36		0,813	50,66	0,77	0,405	
RR5	224,03	8,51	0,896	50,17	0,17	0,030	

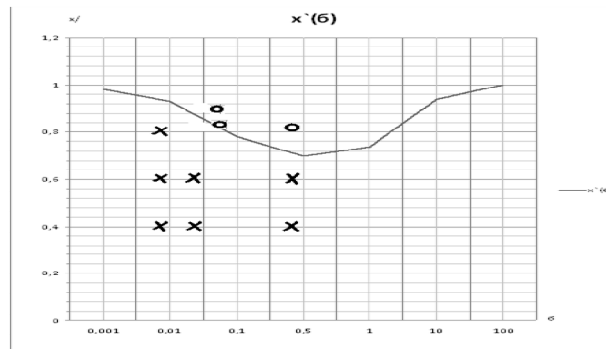


Рис. 1 – Сопоставление экспериментальных и теоретических данных
X – разрушение, 0 – «течь»

Как видно из рисунка 1, те значения функции, которые лежат выше кривой $\bar{\chi}(\delta)$ интерпретируются как «течь», т.е. поверхностная трещина проросла в сквозную и «остановилась» (есть время для оценки ситуации и принятия необходимых мер по восстановлению конструкции), а те значения функции, которые лежат ниже кривой сигнализируют о том, что поверхностный дефект пророс в сквозной и продолжил рост на поверхности тонкостенной оболочки, что в результате привело к катастрофическому разрушению всей конструкции.

Основные достигнутые и ожидаемые результаты.

- установлено влияние глубины поверхностного дефекта на скорость её прорастания в трещину;
- построена модель разрушения для трещины в плоском напряжённом состоянии, являющаяся развитием КРТ-модели и более детально описывающая процесс деформирования материала в пластических зонах;
- показан физический и механический смысл критического раскрытия трещины как критерия разрушения;
- предложена методика расчёта, которая определяет является ли начальная глубина поверхностного трещиновидного дефекта критической для действующей нагрузки;
- установлена возможность практического использования предложенного модельного представления для оценки предельного состояния тонкостенных элементов конструкции с трещиновидными дефектами (для случая несквозных трещин также описана процедура получения оценки).

В ходе дальнейшего исследования планируется разработать методику оценки и прогнозирования несущей способности тонкостенной конструкции (дать ответ на вопрос: будет ли поверхностный дефект прорасти в сквозной конечный дефект (сквозная трещина), остановится ли рост сквозного дефекта или последует катастрофическое разрушение всей конструкции?), находящейся в эксплуатации, с начальным поверхностным дефектом.

Результаты исследования могут найти своё применение в таких отраслях как машиностроение, авиация и космонавтика, нефтегазовая промышленность, атомная энергетика и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев А.С. Оценка влияния несквозных трещин на прочность конструкций при проектировании летательных аппаратов // «Актуальные проблемы ракетно-космической техники»: Тр. II-ой Всерос. научн. конф. – Самара: ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», 2011. – «Козловские чтения». – С. 83 – 89.
2. Даффи, А. Практические примеры расчёта на сопротивление хрупкому разрушению трубопроводов под давлением // Разрушение. Т.5 Расчёт конструкций на хрупкую прочность. – М.: машиностроение, 1977. – С. 146-210
3. Folias, E.S. A finite crack in a pressured cylindrical shell // Int. J. Fract. Mech. – 1965. Vol. 1. P. 104-113.